

Artículo

Acondicionamiento lumínico en aulas de ingeniería mediante software de diseño DIALux

Jorge Alberto Azuara-Jiménez¹, Jairo García-Domínguez y Donaji Jiménez-Islas^{1,*}

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huichapan; División de Ingeniería en Energías Renovables, México.

* Correspondencia: djimenez@iteshu.edu.mx

Resumen: El nivel de iluminación adecuado en las aulas educativas es un factor clave para mejorar el confort visual de los estudiantes. El presente artículo tiene como objetivo evaluar el nivel de iluminación de un aula utilizada para impartir clases de ingeniería y establecer a través de la simulación el reacondicionamiento luminoso que mejore las condiciones de confort para los estudiantes. El estudio se realizó tomando en consideración los requisitos de la norma de "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo" (NOM-025-STPS-2008), la cual fue implementada en el aula utilizada para impartir clases en el horario matutino, vespertino y nocturno. El estudio se desarrolló en tres etapas, en la primera se realizó la medición de iluminación con un luxómetro, en la segunda etapa se dimensionó el salón de clases en el software DIALux donde se simuló la iluminación de acuerdo al tipo de luminaria, para la tercer etapa se realizó una propuesta de acondicionamiento lumínico para mejorar el confort visual del lugar. Los resultados muestran que las condiciones de iluminación en las aulas de los estudiantes de ingeniería no cumplen con lo requerido por la Norma Oficial Mexicana, por lo que se propone una serie de opciones que permitan mantener las políticas de ahorro energético institucionales.

Keywords: *Confort lumínico; Simulación DIALux, NOM-025-STPS-2008*

Citar este trabajo: Azuara-Jiménez, J. A.; García-Domínguez, J.; Jiménez-Islas, D. Acondicionamiento lumínico en aulas de ingeniería mediante software de diseño DIALux. RELITEC'S, 2023, 6ta edición.

ISSN 2395-972X
relitecs.iteshu.edu.mx/

Recibido: 30-09-2023
Aceptado: 13-11-2023
Publicado: 30-11-2023

1. Introducción

En el hogar y en el trabajo la iluminación del espacio se considera fundamental para mantener condiciones óptimas, seguras y confortables. La iluminación adecuada tiene un rol fundamental para mantener no solo la percepción visual, sino que puede influir en la productividad, el bienestar y rendimiento de las personas y los objetos que manipula.

La iluminación eléctrica ha permitido ampliar el horario de actividades de las personas en periodos donde la iluminación natural no es suficiente [1]. La tecnología relacionada a la iluminación artificial ha evolucionado en los últimos años con el objetivo de alcanzar mayor eficiencia energética en las luminarias [2]. La eficiencia energética ha sido definida como: "el cociente entre la energía requerida para desarrollar una actividad específica, y la cantidad de energía primaria usada para el proceso" [3].

Actualmente, la eficiencia energética constituye una pieza clave en las economías de mercados globales a través de la implementación de tecnología LED que les permita reducir costos y mejorar su competitividad [4]. Además, el sistema de iluminación representa del 20-45% de la energía total utilizada en edificios, lo que genera propuestas para minimizar el consumo de energía eléctrica a través de luminarias ahorradoras, control de ocupación, nivel de iluminación del espacio y tiempo de usos de la iluminación [5].

En cuanto a normativa en materia de iluminación, México cuenta con la Norma NOM-025-STPS-2008 [6] para las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, como las instituciones donde se imparte educación superior. La iluminación en entornos de aprendizaje, como las aulas universitarias, es un factor crítico que incide tanto en el

bienestar de los estudiantes como en su rendimiento académico. El confort visual en el aula se indica cuando los alumnos y los profesores pueden seguir trabajando en el aula sin experimentar molestias visuales [7].

La iluminación en aulas universitarias no solo tiene la responsabilidad de proporcionar suficiente luminancia para tareas visuales, sino que también debe cumplir con pautas específicas de diseño para garantizar un ambiente de aprendizaje óptimo. Además, el reto de mantener equilibrio entre el confort visual y el aprovechamiento de luz natural debe considerar factores como: la cantidad de luz, la uniformidad de la luz, la cantidad en la producción del color y el riesgo de deslumbramiento para los ocupantes [8], para ello se puede auxiliar el diseñador de software de simulación que facilite la toma de decisiones. En el mercado, existen varios software que son de ayuda en el cálculo de la iluminación natural y artificial de espacios interiores y exteriores, como el Radiance, Dialux, Relux, Sefaira, Velux [9].

La simulación de la iluminación mediante herramientas como DIALux se ha vuelto indispensable para diseñadores y planificadores de iluminación en el contexto de aulas universitarias. La capacidad de prever y evaluar virtualmente el rendimiento de diferentes sistemas de iluminación antes de su implementación brinda una valiosa oportunidad para optimizar el diseño y garantizar el cumplimiento de las normativas.

El objetivo del trabajo es evaluar las condiciones de iluminación a través de la NOM-025-STPS-2008 [6], en las aulas utilizada para impartir clases de ingeniería en el Instituto y establecer propuestas energéticamente viables a través de la simulación del reacondicionamiento del sistema de iluminación. Además, se propone una guía de los pasos que requiere un análisis de iluminación a partir de la NOM y que puede ser implementada a diferentes espacios de trabajo.

2. Materiales y Métodos

Para la realización de este estudio se utilizó como referencia la Norma NOM-025-STPS-2008 [6] de la cual se generó un diagrama para el diagnóstico del área de trabajo, recolección de datos y propuesta a través del software DIALux evo 11, Figura 1.

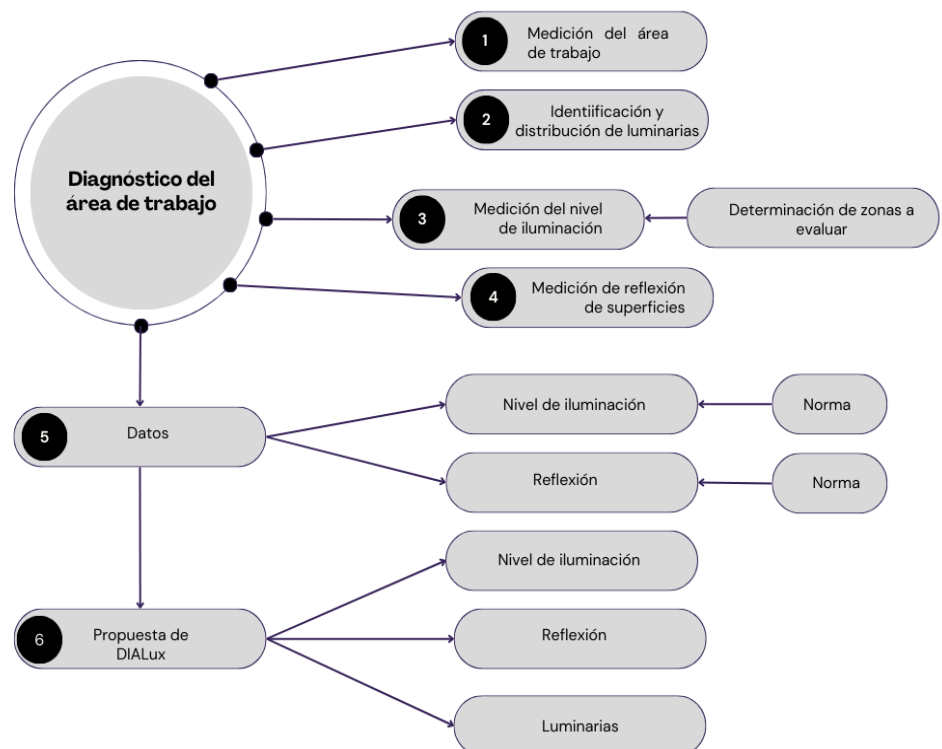


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología a seguir para el análisis de iluminación de un aula educativa.

De la Figura 1, se desarrolla paso a paso el proceso definido por la NOM.

1. Medición del área de trabajo

La ubicación del sitio de estudio se encuentra en el Edificio E del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan Hidalgo, México. El aula seleccionada fue E5, con dimensiones de 8.1 m de largo y 7.26 m de ancho (58.80 m²). Al ser un espacio educativo, las necesidades de iluminación para mantener el confort de los estudiantes, requiere que se tome en consideración la altura de la paleta de la butaca a 0.72 m con respecto al suelo.

La información requerida para el dimensionamiento del espacio de trabajo consideró el tamaño de las ventanas, muros, puerta, mobiliario y equipo dentro del aula.

2. Identificación y distribución de luminarias

Se realizó un conteo del número de luminarias y se determinó su distribución en el espacio de trabajo. Se identificó la marca y potencia (Watts) de la luminaria al retirar el difusor de la misma.

A partir de la inspección visual se pudo determinar que la iluminación no es heterogénea en cada una de las luminarias, debido a factores como el tiempo de vida útil, mantenimiento, recambios y daños ambientales.

Se registraron 12 luminarias, T8 forma tubular en U con dos tubos de 32 Watts cada una, la tecnología es de tipo fluorescente trifósforo de la marca Phillips y que a la fecha el instituto no ha podido reemplazarlas por que el modelo se encuentra discontinuado, lo que motivó a realizar el estudio de acondicionamiento lumínico del aula de ingeniería, las características de distribución y funcionamiento de las luminarias se pueden visualizar en la Figura 2.



Figura 2. Aula de clases E5 donde se muestra la distribución de luminarias.

3. Medición del nivel de iluminación

De acuerdo a la Norma NOM-025-STPS-2008 correspondiente a condiciones de iluminación en los centros de trabajo, se establecen los niveles de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, dicho niveles se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles mínimos de iluminación establecidos por la NOM-025-STPS-2008

Puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (Luxes)
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300

* Fuente: NOM-025-STPS-2008

Para identificar el número de zonas para realizar las mediciones de iluminación, es necesario estimar el índice área (IC) a partir de la ecuación 1.

$$IC = (x + y)/h(x + y) \quad (1)$$

Donde:

x= dimensiones del área, largo en metros

y= dimensiones del área, ancho en metros

h = altura de la luminaria respecto al plano de trabajo, en metros.

A partir de la ecuación 1 se obtiene el número mínimo de puntos de medición, considerando el largo (x) de 8.1 m, ancho (y) de 7.26 m y la altura (h) de 2.60 m; teniendo como resultado IC de 1.47, cuyo valor en la Tabla 2 corresponde a tener un número mínimo de zonas a evaluar de 9.

Tabla 2. Relación entre el índice de área y el número de zonas de medición

Índice de área	A) Número mínimo de zonas a evaluar	B) Número de zonas a considerar por la limitación
$IC < 1$	4	6
$1 \leq IC < 2$	9	12
$2 \leq IC < 3$	16	20
$3 \leq IC$	25	30

* Fuente: NOM-025-STPS-2008

El aula E5 fue seccionada en 9 zonas de las cuales se determinó su centro geométrico para realizar las mediciones de acuerdo a la norma. En la Figura 3 se muestran las dimensiones y centros geométricos del sitio de estudio.

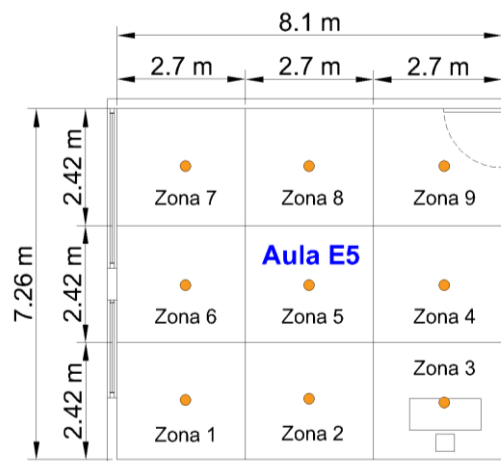


Figura 3. Sitio de estudio y distribución de zonas de muestreo.

Para la medición del nivel de iluminación en el aula E5 del Instituto, se utilizó un Luxómetro calibrado de la marca BK PRECISION, modelo 615 con una precisión de $\pm 3\%$.

Se encendieron las luminarias por 15 minutos para llevar a cabo la medición en el centro geométrico de cada una de las zonas, considerando una altura de trabajo de 0.72 m, que corresponde a la paleta de las butacas de los estudiantes de Ingeniería, Figura 4. Los horarios de medición fueron a las 15:00 hrs. y a las 20:00 hrs. del día 04 de agosto de 2023, para el horario vespertino se tomaron mediciones con luz natural y artificial.

Se estima el promedio del nivel de iluminación de las 9 zonas del aula E5. También se estimaron los promedios del nivel de iluminación de las aulas E2, E3 y E4, sin embargo para este documento realizaremos la propuesta de iluminación del aula E5, que puede extenderse al resto de las aulas de ingeniería.



Figura 4. Medición de nivel de iluminación en butaca del aula E5

4. Medición de reflexión de superficies

De acuerdo a la norma NOM-025-STPS-2008 se realizó la medición de la reflexión de las paredes y piso a través del luxómetro. Se utilizó la ecuación 2 para estimar el factor de reflexión.

$$Kf = (E1/E2) * 100 \quad (2)$$

Para el cálculo del factor de reflexión de las superficies se consideró:

- Se efectuó una primera medición (E1), con la fotocelda del luxómetro colocada de cara a la superficie, a una distancia de $10 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$, hasta que la lectura permanezca constante;
- La segunda medición (E2), se realizó con la fotocelda orientada en sentido contrario y apoyada en la superficie, con el fin de medir la luz incidente, y
- El factor de reflexión de la superficie (Kf) se determinó con la ecuación 2.

De acuerdo a la norma se considera que los niveles máximos permisibles del factor de reflexión sean de 50% para el plano de trabajo y 60% para paredes.

La reflexión en la superficie de las paredes (del aula E5) fue estimada considerando, $E1 = 144 \text{ luxes}$ y $E2 = 198 \text{ luxes}$ obteniendo un valor de K_{pared} de 72.72%, el cual supera el 60% establecido en la norma. La reflexión en la superficie del suelo fue estimada considerando: $E1 = 77 \text{ luxes}$, $E2 = 238 \text{ luxes}$, obteniendo un valor de 32.35%.

Los datos del factor de reflexión son ingresados en el software DIALux EVO 11.1.

5. Datos

Con los datos obtenidos del diagnóstico del área de trabajo establecido en la Figura 1, se procede a comparar los resultados con respecto a la NOM-025-STPS-2008 para determinar su cumplimiento de nivel de iluminación y reflexión de las aulas de ingeniería.

6. Propuesta de DIALux

Los datos obtenidos del diagnóstico del área de trabajo permitieron simular en el software DIALux, el espacio y condiciones de iluminación a través de un comparativo de luminarias LED que se encuentran actualmente en el mercado y cuyas potencias benefician a las políticas de ahorro energético y medioambiental requeridas en las normas ISO 14001:2015 y 50001:2018. Otros datos ingresados fueron: texturas de las superficies, colores, mobiliario y equipo digital. Al ser un espacio educativo que propicia el confort de los estudiantes durante su jornada en el Instituto se propuso un nivel de iluminación óptimo de 500 luxes, el cual supera el mínimo de 300 luxes requerido por la norma.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis de nivel de iluminación

Los resultados del nivel de iluminación natural (IN) se observan en la figura 5a, 6a, 7a y 8a. Para el caso del nivel de iluminación natural y artificial encendida (IN+A), se muestran los datos de las mediciones en las figuras 5b, 6b, 7b y 8b.

Los horarios utilizados corresponden al tiempo en el que se imparten las clases de ingeniería dentro del instituto.

La medición de los niveles de iluminación de las aulas E2 a E5 se realizó a las 16:00 hrs. del día 07 de agosto de 2023, en las figuras 5a, 6a, 7a y 8a se identifican deficiencias de iluminación en el área de trabajo al no llegar al mínimo requerido por la norma que es de 300 luxes (Tabla 1), lo cual es originado por la presencia de vegetación cercana a las ventanas de las aulas, difusores de las luminarias en mal estado y luminarias sin funcionar durante el periodo de evaluación.

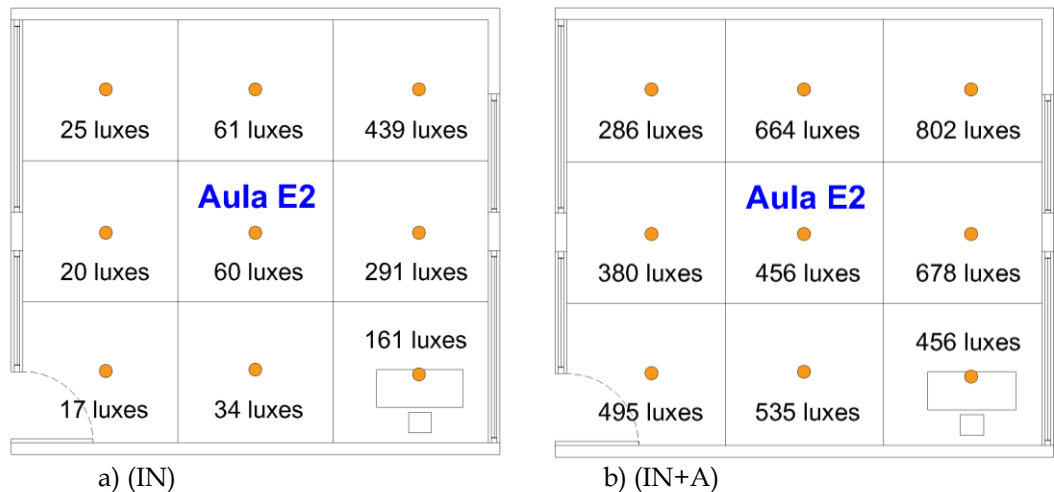


Figura 5a, b. Medición de nivel de iluminación en butacas del aula E2

Para garantizar el proceso educativo es necesario que los estudiantes mantengan un confort visual y para ello se utilizan luminarias que permitan mantener la iluminación de acuerdo a la norma, sin embargo siendo las 16:00 hrs. la necesidad de energía se incrementa en el Instituto al emplear las luminarias y pasar de 123 luxes a 528 luxes en promedio. Lo que ha provocado no cumplir con metas y objetivos institucionales en cuanto al ahorro de energía.

Para determinar si es una tendencia los bajos niveles de iluminación en las aulas de ingeniería, se procedió a realizar las mediciones en las aulas E3, E4 y E5.

El análisis para el aula E3 muestra el mismo comportamiento de iluminación que el Aula E2 (figura 6b, 5b), debido a que fue necesaria la implementación de iluminación

artificial para pasar de 198.33 luxes a 575.22 luxes, siendo evidente que la iluminación es similar debido a la orientación, disposición y tamaño de ventanas y la distribución del mobiliario.

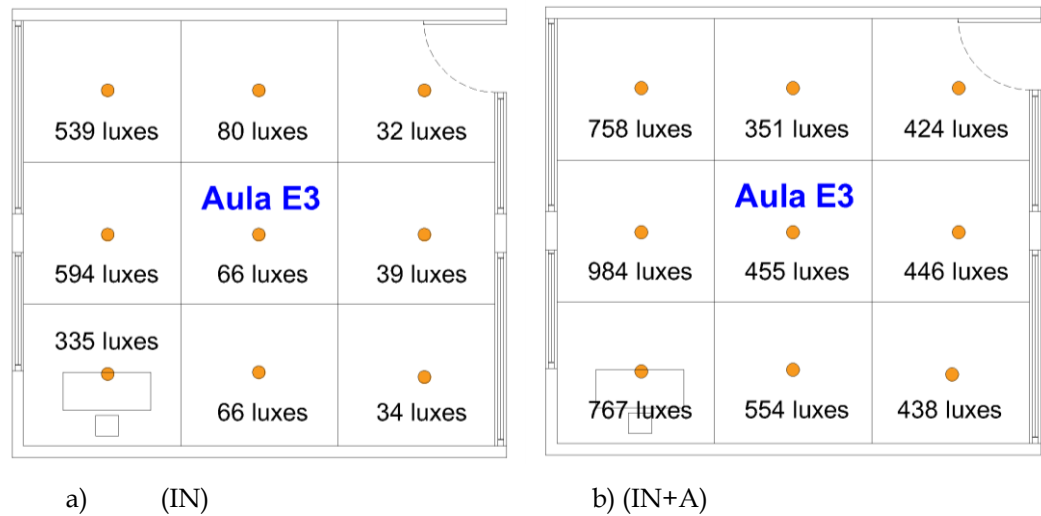


Figura 6a, b. Medición de nivel de iluminación en butacas del aula E3

Para el caso de las aulas E4 y E5 (Figura 7b, 8b), durante la medición de los niveles de iluminación se identificó presencia de vegetación cercana a la infraestructura del edificio, lo que redujo significativamente la iluminación con IN y cuando se empleó IN+A ligeramente se superaron los valores de la norma.

El aula E4 tiene un promedio de IN de 103.33 luxes, el cual es muy bajo para que los estudiantes tengan un confort visual, similares resultados fueron encontrados para el aula E5, con un promedio de 100.88 luxes.

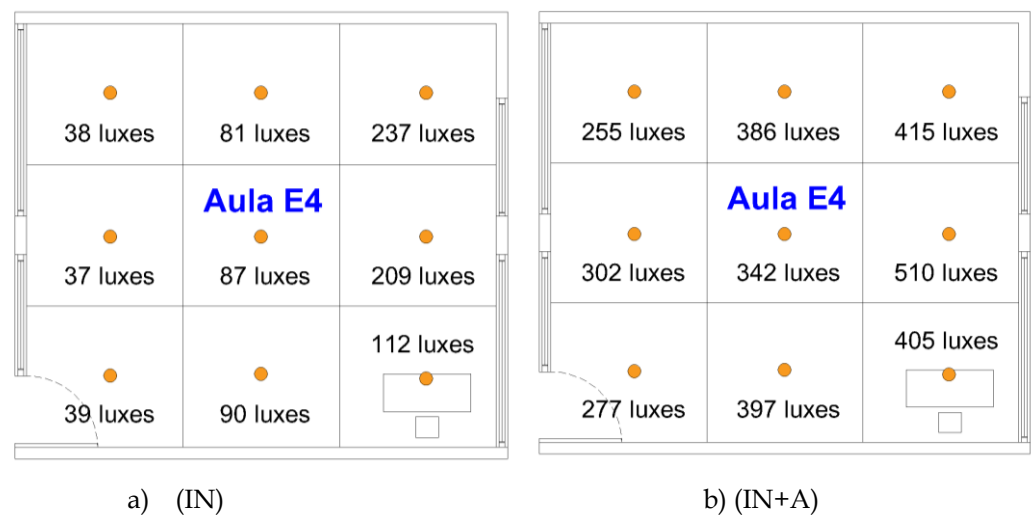


Figura 7a,b. Medición de nivel de iluminación en butacas del aula E4

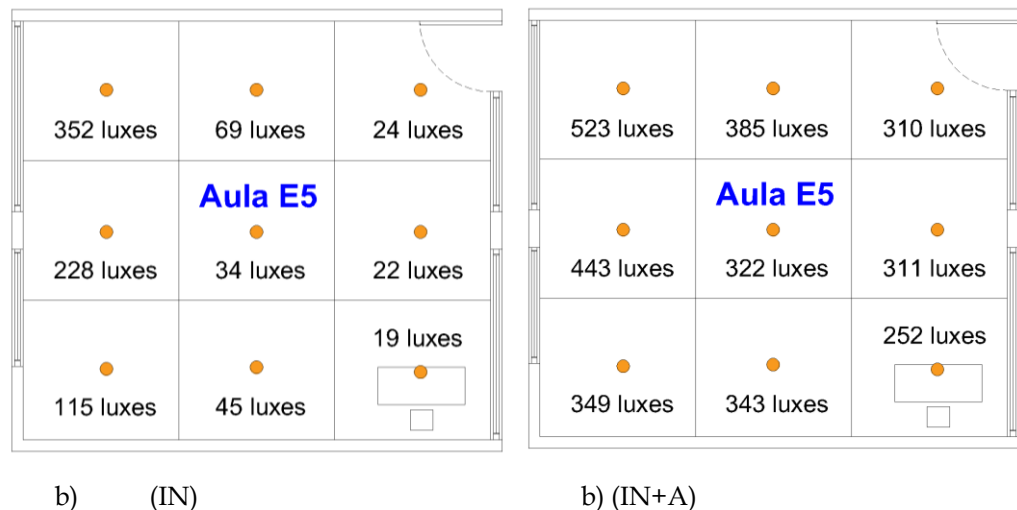


Figura 8a,b. Medición de nivel de iluminación en butacas del aula E5

En el instituto se extiende el horario hasta un horario de 21:00 hrs., lo que requiere iluminación artificial (A), por ello se procedió a hacer un análisis de iluminación a las 21:00 hrs. del 04 de agosto de 2023, teniendo como resultado un promedio de 278.11 luxes (figura 9), incumpliendo la norma en materia de iluminación. De las zonas evaluadas, únicamente dos zonas cercanas a la puerta y a una pantalla blanca alcanzaron más de 300 luxes, el resto de las zonas no superaron este valor.

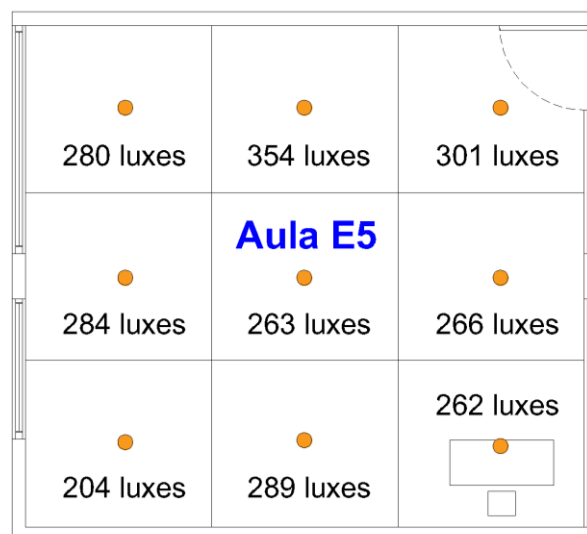


Figura 9. Medición de nivel de iluminación artificial en el aula E5

Aprovechar la luz natural del sol da como resultado espacios más cómodos y conectados con el medio ambiente. También es una estrategia pasiva que permite la reducción de la luz artificial. Es necesario hacer un buen uso de este recurso para evitar deslumbramientos, malos contrastes y otros problemas que podrían afectar la comodidad y la visión de los estudiantes (Pagliero y Piderit, 2017).

Por lo anterior se procedió a realizar una propuesta de iluminación que pudiera replicarse en las aulas de estudio

3.1. Propuesta de iluminación mediante DIALux

Para la simulación, se tomó en consideración el valor de 500 luxes que garantizan el confort visual en los turnos utilizados en el instituto. Se dimensionó el área de trabajo de acuerdo al diagnóstico de la figura 1, se aplicó textura a las superficies, mobiliario y equipo. El dato de factor de reflexión fue ingresado con un valor de 72.72% para paredes y de 32.35% para el suelo.

En el software se ingresaron los valores de: dimensiones del área de trabajo (largo, ancho y alto), mobiliario y equipo digital, plano de trabajo con un valor de 0.720 m que corresponde a la altura de las butacas donde los estudiantes realizan sus tareas académicas y características de las luminarias propuestas con la geometría para no realizar modificaciones al empotrarse.

Los resultados de la simulación en DIALux se muestran en la figura 10, considerando una disposición de luminarias de 3 filas por 2 columnas, llegando a 6 luminarias de 48 W marca 3F Filippi, que reemplazarían a las luminarias de 64 W con las que cuenta actualmente el área de estudio, contribuyendo con las políticas institucionales para el uso eficiente de la energía.



Figura 10. Simulación del espacio educativo a través de DIALux.

Para identificar las zonas con los niveles de iluminación establecidos por la norma, se realizó el análisis a través del software, obteniendo una vista en planta con líneas isolux y colores falsos, Figura 11.

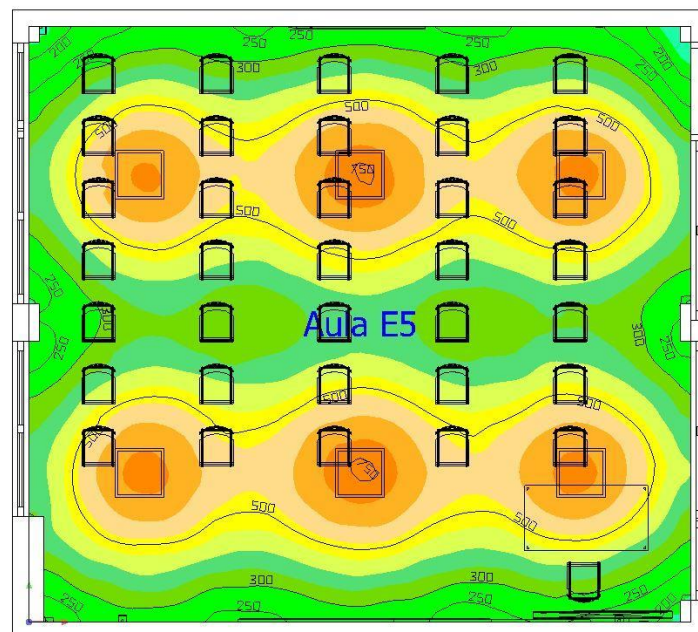


Figura 11. Cálculo de niveles de iluminación con líneas isolux y colores falsos del aula educativa E5 de ingeniería

A partir del análisis de la figura 11 se puede identificar que en las zonas cercanas a las paredes el nivel de iluminación se encuentra por debajo de la norma (300 luxes), por lo que se recomienda que la distribución de butacas considere alejarlas de la pared para mantener el confort visual en las actividades educativas.

Dentro de las curvas isolux se identificó que existen zonas con valores de hasta 750 luxes y que corresponden a posiciones cercanas a las luminarias, seguido de zonas con 500 luxes que se alejan de ellas.

Los valores más bajos de iluminación se registraron en las esquinas del aula, con valores de hasta 200 luxes.

Para un análisis visual y numérico más preciso, se habilitó la opción numérica del software, Figura 12.

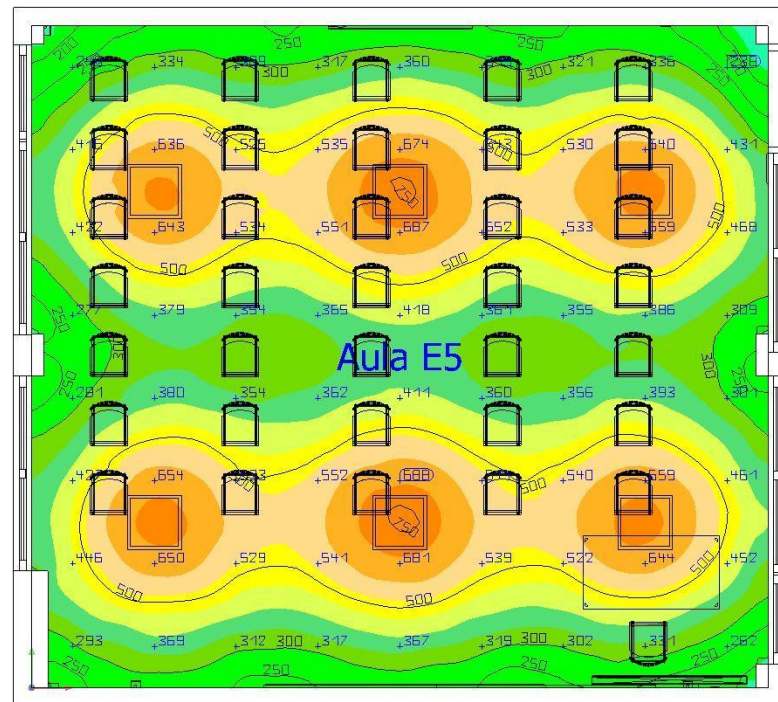


Figura 12. Distribución de niveles de iluminación (luxes) colores falsos, curvas isolux y valores numéricos obtenidos por DIALux.

Se realizó un análisis de luminarias que permitieran reducir el consumo de energía del instituto, identificando 5 propuestas en el mercado que pudieran atender las características técnicas y de disponibilidad para ser empleadas en las cuatro aulas.

En la tabla 3, se ordenan los resultados de la simulación obtenida a través del software DIALux del aula E5, en la que se puede identificar que las 12 luminarias actuales son de baja eficiencia energética en comparación con las demás propuestas.

Un diseño óptimo debe considerar la potencia y el número de luminarias para mantener el confort del espacio de trabajo, para ello la propuesta 2 contenida en la Tabla 3 es la que tiene menos luminarias y por lo tanto menor carga (252 Watts), en segundo lugar la propuesta 4 (297 Watts) y como tercer lugar la propuesta 3 (315 Watts).

Tabla 3. Análisis de tecnologías LED para el aula de ingeniería a través del software DIALux.

Escenarios de iluminación a 500 luxes	Número de luminarias	Carga conectada para alumbrado (W)	Promedio de iluminación en horario nocturno (luxes)
Actual Luminarias fluorescentes T8 en U Phillips (64 W)	12	768	278.11
Propuesta 1 (500 luxes) Luminarias Led Regiolux (69.7W)	6	418.2	791
Propuesta 2 (500 luxes) Luminarias LED 3F Filippi (48W)	6	252	445
Propuesta 3 (500 luxes) Luminarias Led VARTON (35W)	9	315	458
Propuesta 4 (500 luxes) Luminarias Led TEC-MAR (33W)	9	297	519

Del análisis de iluminación identificamos que los factores que afectan el confort visual en el aula educativa son: la vegetación en el entorno, falta de mantenimiento de las luminarias, la distribución de butacas en aulas, número de luminarias y obsolescencia de la tecnología.

4. Conclusiones

El análisis inicial de iluminación en las aulas de ingeniería no cumplió con lo que establece la norma NOM-025-STPS-2008 para el espacio de trabajo educativo teniendo la mayoría de ellos resultados por debajo de los 300 luxes originado por factores tecnológicos, ambientales y operativos.

El emplear luminarias LED, reduciría el consumo energético y favorecería en las acciones ambientales generadas en el Instituto.

El análisis de iluminación a través del software DIALux permitió identificar visual y numéricamente el nivel de iluminación en las aulas de ingeniería, permitiendo comparar a través de diferentes propuestas, posibles opciones para el recambio de las luminarias actuales que favorezcan el confort de los estudiantes en el horario matutino, vespertino y nocturno.

Para este estudio se considera como una opción tecnológica el uso de la luminaria LED 3F Filippi de 48 W. El presente estudio también busca dar a conocer la implementación de la norma en aquellos espacios que tengan que ser acondicionados para mejorar el confort lumínico.

Contribución: “Conceptualización, metodología y software JAAJ; validación y escritura DJI; revisión JGD.

Financiamiento: “Esta investigación no recibió financiamiento externo”.

Agradecimientos: Al TecNM.

Conflicto de interés: “Los autores declaran no tener conflicto de intereses”.

Referencias

1. López, L. J.; Álvarez, L. J.; Bassam, A. Eficiencia Energética en Luminarias: Estudio de Caso. *Ingeniería*, **2017**, 21(3), 1-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46754522001>
2. Monteoliva, J. M.; Pattini, A. Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. *Ambiente Construido*, **2013**, 13(4), 235–248. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000400016>
3. Tapia, G. F. E.; Carbajal, A. J.; Castellanos M. C. Aplicación de una metodología de eficiencia energética de un edificio escolar de nivel superior: caso de estudio centro de información del TecNM / IT de Acapulco. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, **2023**, 7(1), 5129-5149. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4820
4. Serrano-Tierz, Ana; Martínez-Iturbe, A.; Guarddon-Muñoz, Oscar.; Santolaya-Sáenz, J. L. Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. *DYNA*, **2015**, 82(191), 231-239. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.45442>
5. Abdelhamid, M.; Elfakharany, M. Improving urban park usability in developing countries: case study of Al-Shalalat Park in Alexandria. *Alex. Eng. J.* **2020**, 59, 311-321. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.12.042>
6. Wagiman, K. R.; Abdullah, M. N. Lighting system design according to different standards in office building: A technical and economic evaluations. *Journal of Physics: Conference Series*, **2018**, 1049, 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1049/1/012010>
7. Secretaria del Trabajo y Previsión Social, Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, “Condiciones de iluminación en los centros de trabajo”
8. Saulea, M. A. The study of light in a kindergarten classroom. *Journal of Industrial Design and Engineering Graphic*, 2021, 6(1), 1-6.
9. Hosseini, S. M.; Mohammadi, M.; Guerra-Santin, O. Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. *Building and Environment*, **2019**, 15, 106396. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106396>
10. Tundono, S.; Madina, R. F.; Nurrohman, M. L. Lamp Placement Point Planning using Dialux Evo as an Effort to Reduce Artificial Lighting. *Proceedings of the International Webinar on Digital Architecture*, **2021** (IWEDA 2021). <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220703.024>